# เครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์ระบบเชื้อเพลิงร่วมผลิตไฟฟ้า 10 กิโลวัตต์

# Dual Fuel Gasifier – Engine System For 10 kWe Power Generation

ศุภวิทย์ ลวณะสกล
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถ.รังสิต-นครนายก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3430 โทรสาร 0-2549-3432 E-mail: suppawit_me@yahoo.com

Suppawit Lawanaskol
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Thanyaburi, Pathumthani 12110 Thailand Tel: 0-2549-3430 Fax: 0-2549-3432 E-mail: suppawit_me@yahoo.com

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาและทดสอบระบบเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมน้ำมันไบโอดีเซล B5 กับแก๊สชีวมวลจากถ่านไม้เพื่อผลิตไฟฟ้า 10 กิโลวัตต์ ระบบประกอบด้วยชุดเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง (Downdraft Gasifier) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนถ่านไม้ให้เป็นแก๊สชีวมวล ระบบปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวมวลและชุดเครื่องยนต์ดีเซล NISSAN LD 20 II 4 สูบ ปริมาตรความจุ1952 cc. 67/4600 HP เพื่อขับ AC. Generators ยี่ห้อ FOLK 220 V, 50 Hz, 1 Ph กำลังผลิตไฟฟ้า 10 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ภาระทางไฟฟ้าจะใช้หลอดไฟฟ้าขนาด 1500 วัตต์ 220 โวลต์ จำนวน 7 หลอด แก๊สชีวมวลมีค่าความร้อนประมาณ 4,200 กิโลจูล/ลูกบาศก์เมตร จากการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าที่ภาระ 10 กิโลวัตต์ เท่ากันจะพบว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซลผลิตไฟฟ้าจะมีความสิ้นเปลือง จำนวน 3.5 ลิตร/ชั่วโมง ในขณะที่ใช้ระบบเชื้อเพลิงร่วมจะมีความสิ้นเปลืองน้ำมันไบโอดีเซล B5 0.92 ลิตร/ชั่วโมง และมีความสิ้นเปลืองถ่านไม้ 6.3 กิโลกรัม/ชั่วโมง ที่อัตราการไหลของแก๊สชีวมวลประมาณ 35 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 3.80 บาทต่อหน่วยไฟฟ้า ระบบสามารถทดแทนการใช้น้ำมันไบโอดีเซลได้ 72 % และลดการปล่อย $CO_2$ ได้ถึง 60% ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ 16.7 %

**Abstract**

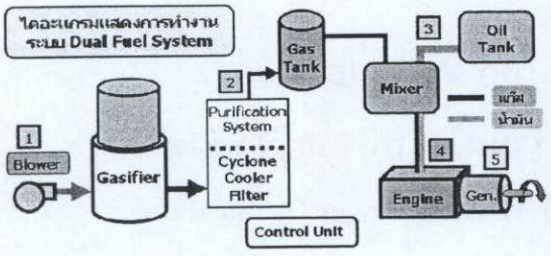
This paper presents the results of study on dual fuel engine using producer gas from woody charcoal and bio-diesel B5. The gasifier-engine system consists of the downdraft gasifier, a gas cleaning/cooling system and a four-cylinder Nissan diesel engine. Using a water scrubber, producer gas can cool down to 28°C for producing almost tar free gas. The system was tested for a cumulative period of 240 hr using woody charcoal in test runs of 3 – 4 hours at a constant speed of 1500 rpm on bio-diesel alone mode and dual fuel mode operation. Gasifier consumed 6.3 $kgh^{-1}$ of woody charcoal, and replaced 72% (2.2 l/hr) bio-diesel B5 at an electricity generation of 10 kWe. $CO_2$ emission was reduced from 8.75% to 3.20 %. Financial analysis of the system showed that the system can save about 40 Baht per hour by using dual fuel (28% bio-diesel + 72% producer gas) for electricity generation.

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาวิกฤติพลังงานและการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและภาวะโลกร้อน ปริมาณน้ำมันเหลือน้อยลงทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทน ทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้ก็คือการใช้พลังงานชีวมวล (Biomass Energy) ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) มาใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น การนำถ่านไม้ เศษไม้ แกลบหรือวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมที่สามารถหาได้ง่าย มาเผาในเตาแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier) จะได้แก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรเจน ($H_2$) เป็นส่วนมากและมีเธน ($CH_4$) เป็นส่วนน้อย แก๊สเชื้อเพลิงเหล่านี้สามารถนำมาใช้แทนน้ำมันในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อผลิตไฟฟ้า สูบน้ำหรือเป็นเครื่องต้นกำลังขับเครื่องจักรกลได้ ช่วยลดการนำเข้าน้ำมันและถ่านหินจากต่างประเทศ อีกทั้งยังช่วยลดมลภาวะจากไอเสียสู่สิ่งแวดล้อมได้

รูปที่ 1 ถ่านไม้และเศษไม้ เชื้อเพลิงสำหรับแก๊สซิไฟเออร์

**2. เครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์ระบบเชื้อเพลิงร่วมผลิตไฟฟ้า**




รูปที่ 2 ไดอะแกรมการทำงานเบื้องต้นของเครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์ระบบเชื้อเพลิงร่วมผลิตไฟฟ้า

เครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier Engine) หมายถึงระบบที่ประกอบไปด้วยเตาแก๊สซิไฟเออร์ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อป้อนให้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในทดแทนการใช้น้ำมัน กำลังงานที่ผลิตได้สามารถนำไปขับเยนเนอเรเตอร์ผลิตไฟฟ้า ดูรูปที่ 2

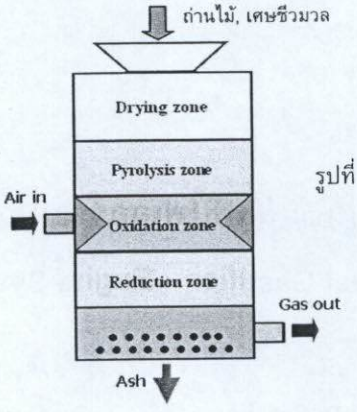
**2.1 เตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลลง (Downdraft Gasifier)**

เตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลลง ดังในรูปที่ 3 มีความสามารถในการขจัดน้ำมันดินหรือทาร์ (Tar) ในแก๊สชีวมวลดีที่สุด อากาศจะไหลจากด้านข้างสู่ด้านล่างผ่านชุดหัวฉีด (nozzles) ที่เรียกว่า "Tuyeres" บริเวณหัวฉีดนี้จะเป็น Combustion Zone แก๊ส $CO_2$ และ $H_2O$ ที่เกิดในโซนนี้ จะไหลสู่ด้านล่างของเตาผ่านชั้นคาร์บอนร้อนที่อยู่เหนือตะแกรงและแตกตัวหรือถูก reduced เกิดเป็นแก๊ส CO, $H_2$ และ $CH_4$ ขณะเดียวกันชั้นของชีวมวลที่อยู่เหนือ Combustion Zone ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนน้อยมากจะเกิดการกลั่นสลายโดยความร้อน โดยไอของน้ำมันดินที่เกิดจากการกลั่นสลายจะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อน จึงทำให้น้ำมันดินเกิดแตกตัวเป็นแก๊สด้วยเช่นกัน การแตกตัวนี้เกิดที่อุณหภูมิระหว่าง 800°C ถึง 1,000°C แก๊สที่ได้จาก Combustion Zone ในเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลลงนี้ จะมีปริมาณน้ำมันดินน้อยกว่าเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลขึ้น (Updraft Gasifier) และเป็นแก๊สที่สะอาดกว่า เมื่อผ่านชุดปรับปรุงคุณภาพแก๊สให้เหมาะสมแล้ว ก็สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในทั้งชนิดแก๊สโซลีนและดีเซลได้

**2.2 ระบบเชื้อเพลิงร่วม** (Dual Fuel System) หมายถึง ระบบที่ใช้เชื้อเพลิง 2 ชนิดร่วมกันป้อนให้กับเครื่องยนต์ดีเซล ในที่นี้จะใช้น้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลร่วมกับแก๊สชีวมวล ซึ่งผลิตได้จากเตาแก๊สซิไฟเออร์ ในการใช้แก๊สชีวมวลนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันดีเซล ผลการทดสอบที่ภาระผลิตไฟฟ้า 10 kWe สามารถทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 72% โดยเครื่องยนต์ดีเซลทำงานภายใต้การกินน้ำมันเพียง 28 % และที่เหลืออีก 72% จะป้อนแก๊สชีวมวลให้แก่เครื่องยนต์ดีเซลแทน ระบบสามารถทำงานได้ดีในระดับที่น่าพอใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เป็นเครื่องต้นกำลังผลิตไฟฟ้าและขับปั๊มสูบน้ำ ซึ่งมีความเร็วรอบต่ำและคงที่

ขบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงถ่านไม้ให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงประกอบไปด้วย 4 โซนหลัก ดังนี้

1. โซนอบแห้ง (Drying Zone)
2. โซนกลั่นสลาย (Pyrolysis or Distillation Zone)
3. โซนเผาไหม้ (Oxiation or Combustion Zone)
4. โซนรีดักชั่น (Reduction Zone)




รูปที่ 3 บริเวณต่างๆ ในเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลลง

ขบวนการเผาไหม้ สมการปฏิกิริยาทางเคมี เขียนได้ดังนี้

$$C + O_2 \longleftrightarrow CO_2 - 401.9 \text{ kJ/mol} \quad (1)$$

$$H_2 + \tfrac{1}{2} O_2 \longleftrightarrow H_2O - 241.1 \text{ kJ/mol} \quad (2)$$

ในแก๊สซิไฟเออร์ คาร์บอนไดออกไซด์, $CO_2$ และไอน้ำ, $H_2O$ จะถูกเปลี่ยนเป็น คาร์บอนมอนนอกไซด์, CO ไฮโดรเจน, $H_2$ และมีเธน, $CH_4$ ปฏิกิริยาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นใน Reduction Zone มีดังนี้

$$C + CO_2 \longleftrightarrow 2CO + 164.9 \text{ kJ/kmol} \quad (3)$$

$$C + H_2O \longleftrightarrow CO + H_2 + 122.6 \text{ kJ/kmol} \quad (4)$$

$$CO + H_2 \longleftrightarrow CO + H_2O + 42.3 \text{ kJ/kmol} \quad (5)$$

$$C + 2H_2 \longleftrightarrow CH_4 + 0 \quad (6)$$

$$CO + 3H_2 \longleftrightarrow CH_4 + H_2O - 205.9 \text{ kJ/kmol} \quad (7)$$

สมการ (3) และ (4) เป็นสมการหลักของปฏิกิริยา Reduction ซึ่งต้องการความร้อน จึงทำให้อุณหภูมิแก๊สลดลงขณะถูก reduced

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเตาแก๊สซิไฟเออร์

| | |
|---|---|
| Pressure (MPa) | 0.11 |
| Bed Temperature (°C) | 945 |
| Throath Diameter, cm | 22 |
| Hopper Diameter, cm | 35 |
| Hopper Height, cm | 90 |
| Charcoal Consumption Rate (kg/hr) | 6.3 |
| Air Flow Rate ($m^3$/hr) | 42 |
| Gas Flow Rate ($m^3$/hr) | 35 |
| Duration Time (min) | 60 |
| Static Bed Height (m) | 0.7 |
| Un-Burnt Carbon Content in Bottom Ash (wt%) | 1.2 |
| Combustion Efficiency (%) | 84.5 |

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของแก๊สชีวมวลจากถ่านไม้

| แก๊ส | ปริมาณ | Method |
|---|---|---|
| $H_2$ | 9 – 15 % | GC – TCD |
| CO | 20 – 24 % | |
| $CO_2$ | 8 – 12 % | |
| $CH_4$ | 0.1 – 0.5 % | |
| $N_2$ | 45 – 57 % | |

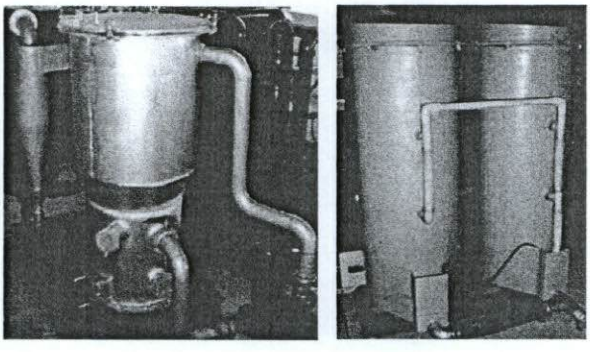
ตารางที่ 3 แสดงค่า Higher Heating Value ของแก๊สชนิดต่างๆ

| Gases | Higher Heating Value (kJ/kg mole) | ความร้อนในการระเหยน้ำ, kJ/kg.mole |
|---|---|---|
| CO | 282,990 | - |
| $H_2$ | 285,840 | 40,500 |
| $CH_4$ | 290,360 | 81,000 |
| $C_2H_6$ | 1,559,900 | 121,500 |

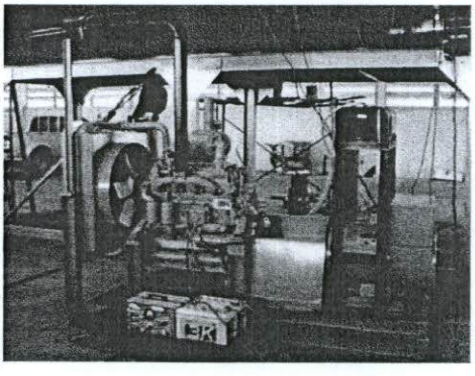
ค่าความร้อนของแก๊สซีวมวล ประมาณ 4,100 – 4,500 kJ/Nm$^3$

**2.3 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์**

1. เตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลลง (Downdraft Gasifier)
2. โบล์เว่อร์ (Blower)
3. ไซโคลน (Cyclone)
4. คูลเล่อร์ (Cooler)
5. สครัปเบ่อร์เปียก (Wet Scrubber)
6. เครื่องยนต์ดีเซล-เยนเนอเรเตอร์
7. หลอดไฟฟ้าทดสอบภาระ 10 กิโลวัตต์
8. แบตเตอรี่และชุดชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 5 ระบบเตาแก๊สซิไฟเออร์และสครับเบ่อร์แบบเปียก

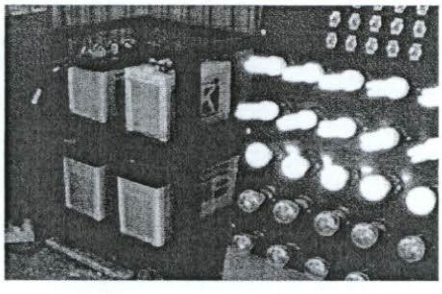


รูปที่ 6 เครื่องยนต์ดีเซล-เยนเนอเรเตอร์ขนาด 10 กิโลวัตต์

เครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์เป็นระบบที่ใช้ถ่านไม้หรือซีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ประกอบไปด้วยเครื่องยนต์ดีเซลกับเตาแก๊สซิไฟเออร์ที่ทำงานร่วมกัน เมื่อเผาถ่านไม้ในเตาแก๊สซิไฟเออร์จะได้แก๊สซีวมวล ซึ่งจัดเป็นแก๊สเชื้อเพลิง เมื่อผ่านกระบวนการทำให้สะอาดและลดอุณหภูมิให้เหมาะสมก็สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันได้

**2.4 การทำงานของเครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์**

เติมถ่านไม้ลงในเตาแก๊สซิไฟเออร์ จุดไฟให้ถ่านไม้ติดไฟประมาณ 10 ถึง 15 นาที ก็จะได้แก๊สซีวมวลหรือแก๊สเชื้อเพลิงและไหลเข้าสู่ไซโคลน คูลเล่อร์และสครับเบ่อร์ซึ่งจะช่วยทำให้แก๊สซีวมวลมีความสะอาดและมีอุณหภูมิที่เหมาะสม จากนั้นสตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันโซล่าร์ก่อน เมื่อเครื่องยนต์ทำงานแล้วจึงป้อนแก๊สซีวมวลให้เครื่องยนต์ ขณะนี้เครื่องยนต์ทำงานด้วยเชื้อเพลิง 2 ชนิด ปรับปริมาณอากาศและแก๊สซีวมวลให้เครื่องยนต์มีการทำงานที่เรียบที่สุดภายใต้ภาระ 10 กิโลวัตต์ แรงเคลื่อนไฟฟ้า 220 โวลต์, 50 เฮิรทซ์ ได้อัตราส่วนของอากาศต่อแก๊สซีวมวล 1 : 1.1 โดยประมาณ สามารถทดแทนน้ำมันโซล่าร์ได้ 72% ถ้าระบบแก๊สซิไฟเออร์ผลิตแก๊สซีวมวลได้มากก็จะสามารถลดหรือทดแทนการใช้น้ำมันโซล่าร์ได้มากขึ้นด้วย ผลการใช้งานเครื่องยนต์ตอบสนองการทำงานดี ระบบนี้เคลื่อนย้ายได้สะดวก เหมาะสำหรับชนบทที่ห่างไกลและไฟฟ้าเข้าไปไม่ถึง ช่วยให้เกษตรกร ชาวไร่ ชาวสวน ในการผลิตไฟฟ้าหรือใช้เป็นเครื่องต้นกำลังที่อยู่กับที่ เช่น การสูบน้ำ เป็นต้น นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาด้านพลังงานโดยการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในประเทศ



รูปที่ 7 ผลิตไฟฟ้าให้แสงสว่างและชาร์จเข้าแบตเตอรี่

รูปที่ 8 ภาระ 10 kWe สำหรับทดสอบระบบผลิตไฟฟ้า

**2.5 ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื้อเพลิงร่วม**

$$\eta_M = \frac{H_g \cdot Q_g}{H_s \cdot M_s} \times 100 \qquad (8)$$

$$\eta_{elect} = \frac{V \cdot I}{H_s \cdot M_s + H_l \cdot M_l} \times 100 \qquad (9)$$

เมื่อ $\eta_M$ = ประสิทธิภาพของเตาแก๊สซิไฟเออร์,%

$\eta_{elect}$ = ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตไฟฟ้า, %

$H_g$ = ค่าความร้อนของแก๊สซีวมวล, kJ/Nm$^3$

$H_s$ = ค่าความร้อนของถ่านไม้, kJ/kg

$H_l$ = ค่าความร้อนของน้ำมันโซล่าร์, kJ/kg

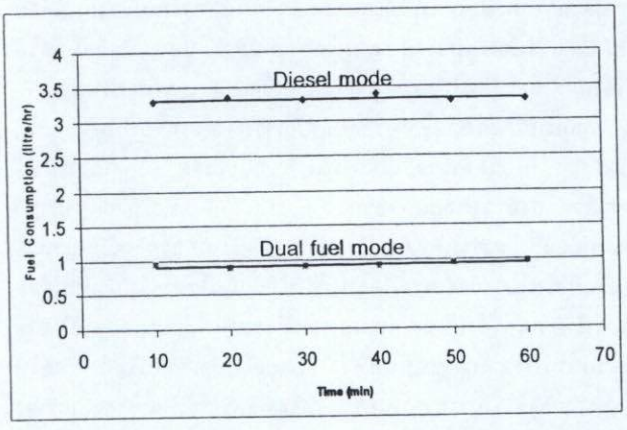
$Q_g$ = อัตราความสิ้นเปลืองแก๊สซีวมวล, m$^3$/hr

$M_s$ = อัตราความสิ้นเปลืองถ่านไม้, kg/hr

$M_l$ = ปริมาณการใช้น้ำมันโซล่าร์. litre/hr

V = แรงเคลื่อนไฟฟ้า, volt

I = กระแสไฟฟ้า, ampere




รูปที่ 9 กราฟแสดง Diesel Consumption & Time ที่ภาระ 10 kWe

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบองค์ประกอบของแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้น

| Type | $CO_2$ | CO | $H_2$ | HC | Method |
|---|---|---|---|---|---|
| Gasoline engine | 8.75 | 1.50 | 0.56 | 0.06 | GC –TCD |
| Dual Fuel Engine | 3.20 | 0.55 | 0.35 | 0.02 | GC –TCD |

**2.6 การดูแลและบำรุงรักษา**

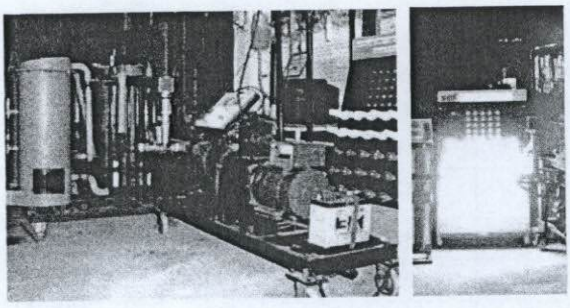
1. หมั่นระบายขี้เถ้าออกจากเตาแก๊สซิไฟเออร์
2. ทำความสะอาดไซโคลน ผ้ากรองในฟิลเตอร์ และสครับเบ่อร์
3. ตรวจ เปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นให้เร็วขึ้นพร้อมทั้งเลือกเบอร์ที่มีความหนืดสูงขึ้น

**3. ข้อดีและประโยชน์**

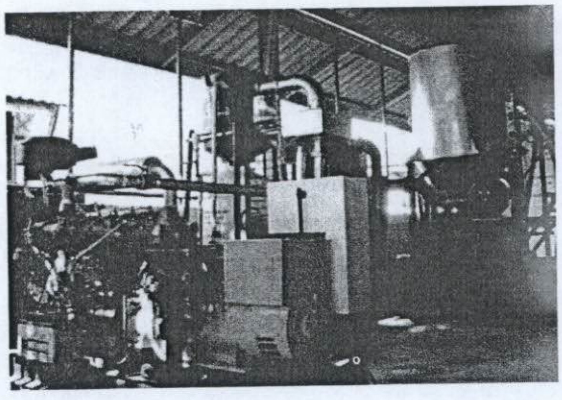
1. ลดการใช้น้ำมัน โดยหันมาใช้พลังงานชีวมวลแทน
2. สามารถผลิตกระแสไฟฟ้า สูบน้ำและใช้ขับเครื่องจักรกลขนาดเล็กในทางเกษตรกรรม
3. สามารถชาร์จแบตเตอรี่ทำงานร่วมกับระบบโซล่าร์เซลล์
4. ระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถเชื่อมต่อกับสายส่งการไฟฟ้า
5. แก๊สที่เหลือใช้สามารถนำไปประยุกต์อบแห้ง
6. ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยมาอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ช่วยลดการก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect)

**4. แนวทางการพัฒนาในอนาคต**

ขณะนี้อยู่ในระหว่างการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การขยายระบบให้มีขนาดใหญ่ การปรับปรุงแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากแก๊สซิไฟเออร์ให้สะอาด การลดปริมาณน้ำมันดิน (Tar) ให้เหลือน้อยที่สุด การลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และการใช้เศษวัสดุเหลือใช้อื่นๆ จากภาคเกษตรกรรมให้มีความหลากหลายมากขึ้น



รูปที่ 10 เครื่องยนต์แก๊สซิไฟเออร์ระบบเชื้อเพลิงร่วม 3 kWe



รูปที่ 11 ระบบเครื่องยนต์-แก๊สซิไฟเออร์ผลิตไฟฟ้า 25 kWe

**5. สรุป**

ผลจากการทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซล 2000 ซีซี. สามารถขับเยนเนอเรเตอร์ผลิตไฟฟ้าได้ 10 กิโลวัตต์ ทดแทนน้ำมันโซล่าร์ได้ 72% คิดเป็นต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 3.80 บาทต่อหน่วย เหมาะสำหรับชนบทที่ห่างไกลไฟฟ้าเข้าไม่ถึง เช่น บนเกาะ บนที่สูง ตามรีสอร์ทต่างๆ และใช้เป็นระบบไฟฟ้าสำรอง (UPS) ได้ หรือใช้ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าจากโซล่าร์เซลล์ นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการแก้ปัญหาด้านพลังงาน โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุด

**หมายเหตุ** ราคาน้ำมันโซล่าร์ 27.50 บาท/ลิตร
ถ่านไม้ผลิตเอง 1.50 บาท/กิโลกรัม

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่จากสถาบันวิจัยเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยวิเคราะห์หาองค์ประกอบแก๊สชีวมวล อาจารย์พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ นักวิชาการอิสระและผู้เชี่ยวชาญด้านการใช้ประโยชน์จากชีวมวล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยด้านพลังงานชีวมวล

**เอกสารอ้างอิง**

1. Reed, T. B., "Biomass Gasification Principles and Techonology," Noyes Data Corporation, New Jersey, USA., 1981.
2. Sofer, S. S., and Zaborsky, O. R., Biomass Conversion

Processes for Energy and Fuels, Plenum Press, New York, 1981.

3. Bridgwater, A. V., Advances in Thermochemical Biomass Conversion, Volume 1, Chapman & Hall, Cambridge, 1993.
4. Egneus, H., and Ellegard, A., Volume 3, Biomass Conversion, Elsevier, London, 1985.
5. Hubert E. Stassen, Small-scale Biomass Gasifiers for Heat and Power, The World Bank, Washington, D.C.,1995.
6. Sunggyu Lee., Alternative Fuels, Taylor & Francis, USA., 1996.
7. ศุภวิทย์ ลวณะสกล, ชูกฤษ เขียวเพชร, วิษณุธร เอี่ยมประชา และ วุฒิชัย เพชรเกื้อ, ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดดาวน์ดราฟท์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรม-ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, จ.ปทุมธานี , 2546

.....